



UNIVERZITET U SARAJEVU  
ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET  
ODSJEK ZA AUTOMATIKU I  
ELEKTRONIKU



# Razvoj sistema za vizualnu odometriju velike skalabilnosti

**MENTOR:**

doc.dr. Dinko Osmanković, dipl.ing.el.

**KANDIDAT:**

Emina Hasanović, BoE

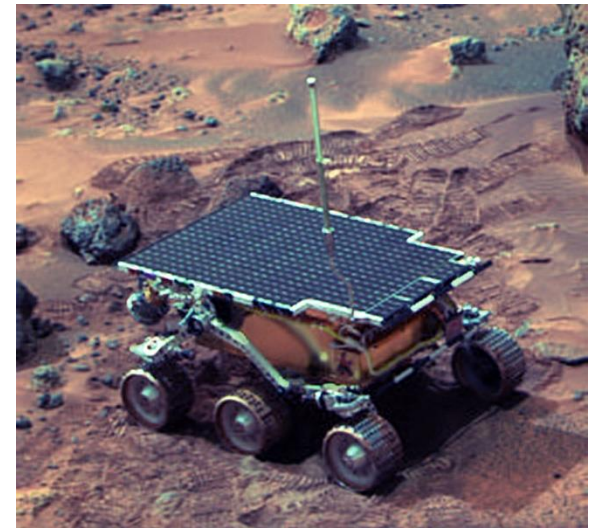
Sarajevo, oktobar 2020.

# Sadržaj

- Uvod
- Osnovni koncepti kompjuterske vizije
- Monokularna vizualna odometrija
- Programska implementacija

# Uvod

- Šta je odometrija?
  - Procjena položaja i kretanja objekta u vremenu.
- Šta je vizualna odometrija?
  - Procjena položaja i kretanja kamere u realnom vremenu.
  - Invarijantan na vrstu pogona.
  - Ideja je predstavljena prvi put za planetarne rovere na Marsu – Moravec 1980. godine.



*Sojourner rover na Marsu, 1997.  
godine*

# Uvod

- Senzori za vizualnu odometriju
  - Pasivne kamere: monokularne, stereo, omnidirekcionalne



*UEye kamera*



*Point Gray stereo kamera*



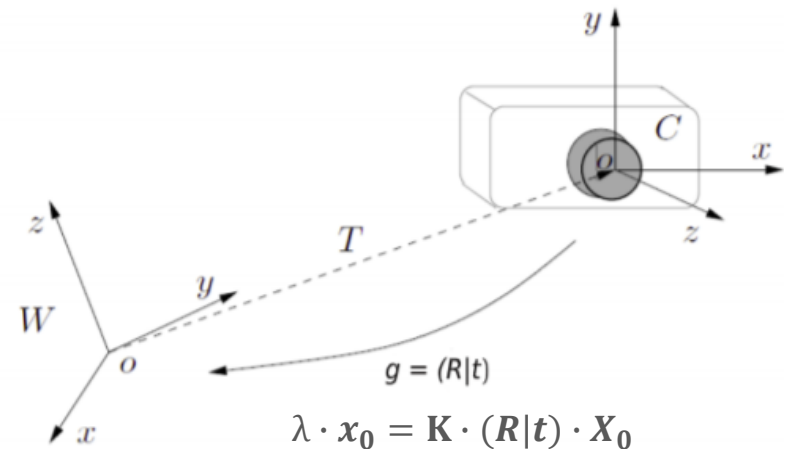
*Bubl omnikamera*

# Uvod

- Monokularna vizualna odometrija
  - Jedna kamera
  - Nepoznat faktor skaliranja pri translaciji
  - Koristi se i u hibridnim metodama
- Stereo vizualna odometrija
  - Dvije kamere
  - Riješen problem nepoznatog faktora skaliranja
  - Svodi se na monokularni slučaj ukoliko se koriste udaljene značajke

# Osnovni koncepti kompjuterske vizije

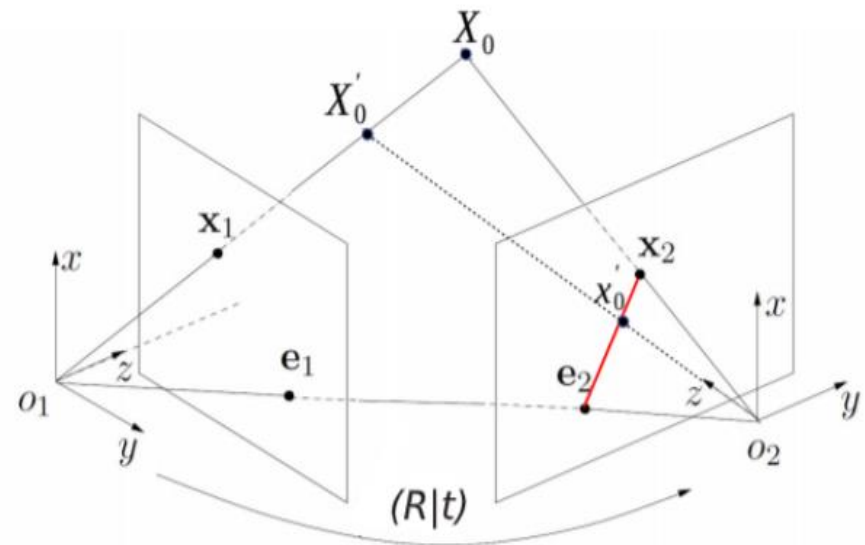
- Pinhole model kamere: formiranje slike na ravnini kamere i transformacija koordinata stvarne 3D tačke u 2D tačku.
- Transformacije koordinata iz koordinatnog sistema kamere u koordinatni sistem okruženja.
- Intrinzični i ekstrinzični parametri kamere.



*Ilustracija transformacije koordinata između sistema kamere i okoline*

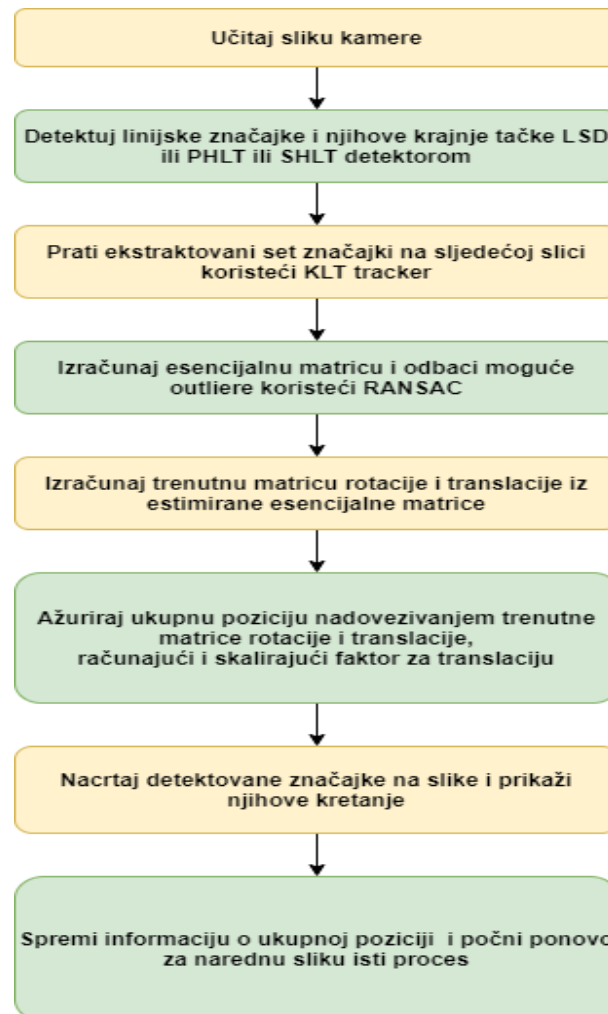
# Osnovni koncepti kompjuterske vizije

- Epipolarna geometrija
  - Objašnjava kako su dvije slike povezane, koje je uslikala jedna kamera ili dvije približno iste kamere u okviru stereovizijskog sistema.
  - Fundamentalna i/ili esencijalna matrica.
  - Dekompozicija na singularne vrijednosti esencijalne matrice da bi se odredile matrice rotacije i translacije između dvaju koordinatnih sistema kamera.



*Geometrija dvaju pogleda*

# Monokularna vizualna odometrija





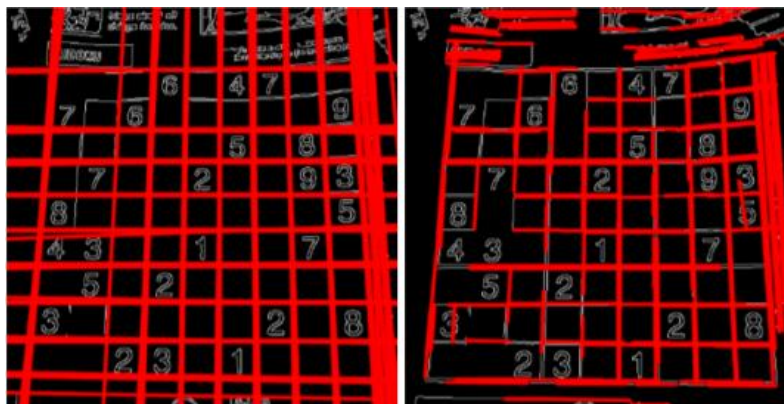
# Monokularna vizualna odometrija

- Vađenje (ekstrakcija) značajki sa slike
  - Line Segment Detector - LSD
  - Standard Hough Line Transform - SHLT
  - Probabilistic Hough Line Transform – PHLT
- Korespondencija značajki
  - Praćenje značajki u slijedu slika (eng. *feature tracking*) pomoću Kanade-Lucas-Tomasi (KLT) metode
- Estimacija pozicije kamere
  - Procjena esencijalne matrice
  - Odstranjivanje vanpopulacijskih značajki pomoću RANSAC metode
  - Procjena matrice rotacije i translacije

# Monokularna vizualna odometrija



*Primjer detekcije pomoću LSD detektora*



*Primjer detekcije linija SHLT (lijeva slika) i PHLT (desna slika)*



*Primjer praćenja značajki pomoću KLT metode*

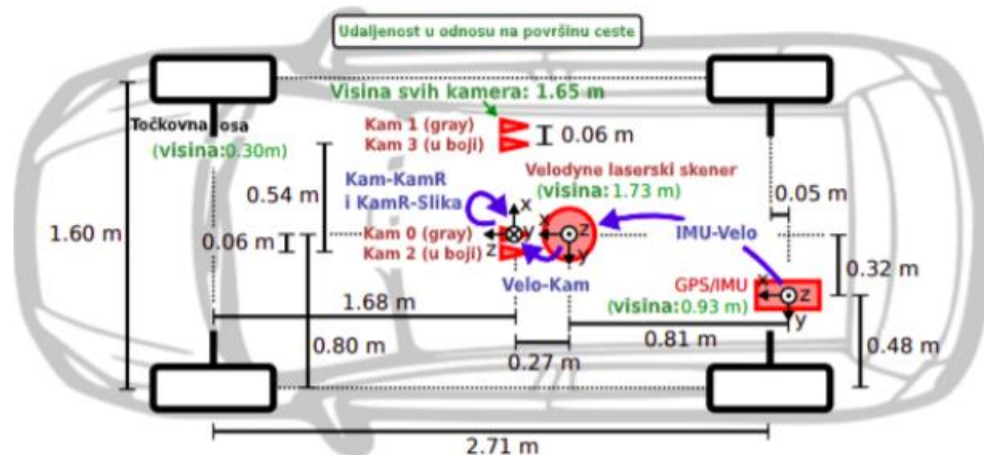
# Programska implementacija

- C++ programski jezik i OpenCV (eng. *Open Source Computer Vision*) biblioteka
- KITTI podaci za evaluaciju algoritma
  - Snimani su različiti scenariji u saobraćaju sa mnogo statičkih i dinamičkih objekata, te otvoreni putevi kroz ruralna područja.
  - Korišteni su različiti senzori, stereo kamere u boji i grayscale visoke rezolucije, Velodyne 3D laserski skener, te GPS/IMU inercijski navigacijski sistem visoke preciznosti.

# Programska implementacija



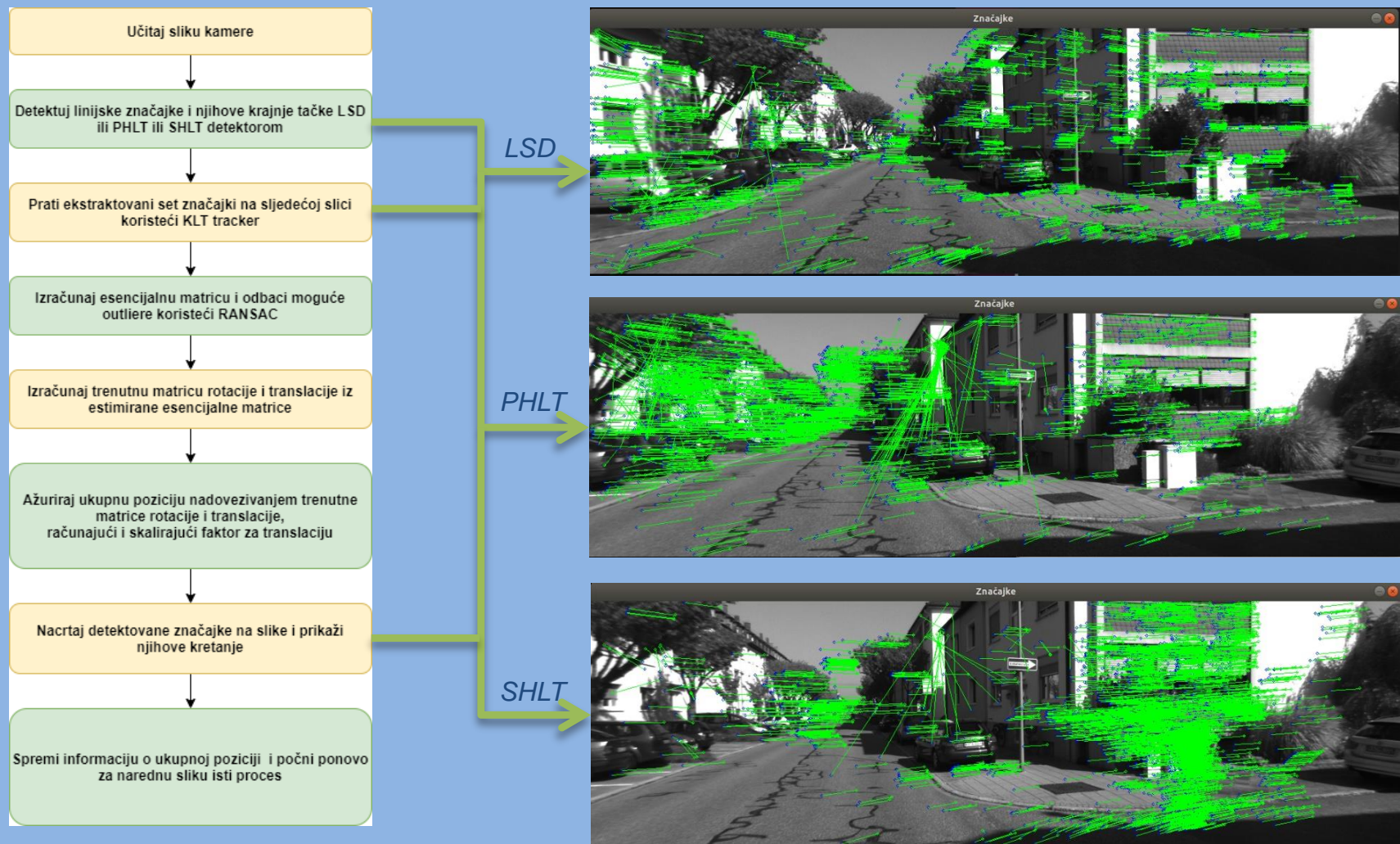
Platforma za snimanje podataka: VW Passat sa senzorima



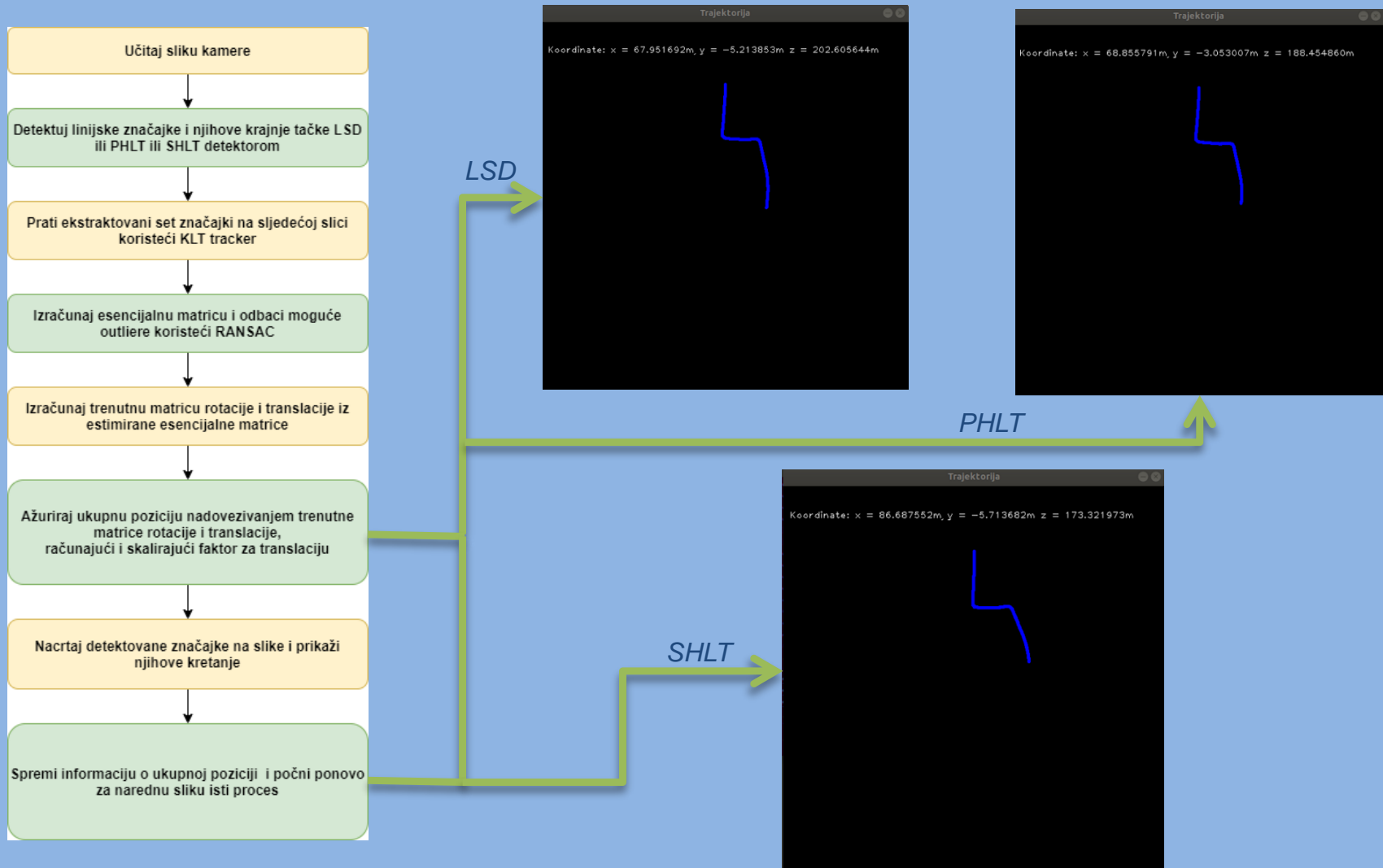
Raspored senzora na autu VW Passat:  
Dimenzije i mjesta gdje su senzori postavljeni u odnosu na ram vozila (crveno), te udaljenost od zemlje je označena zelenom bojom.  
Transformacije između senzora su prikazane plavom bojom



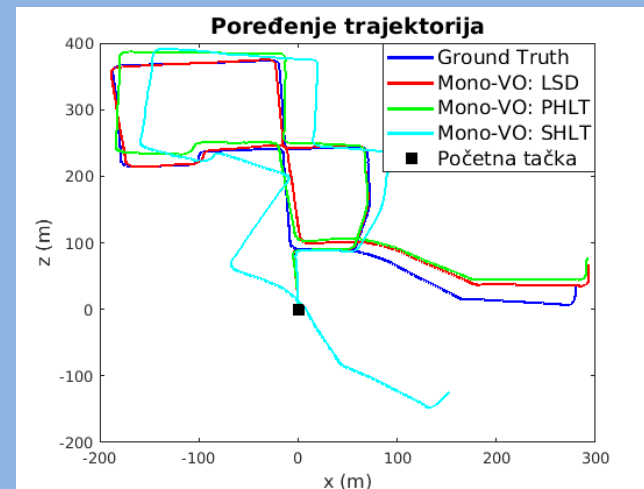
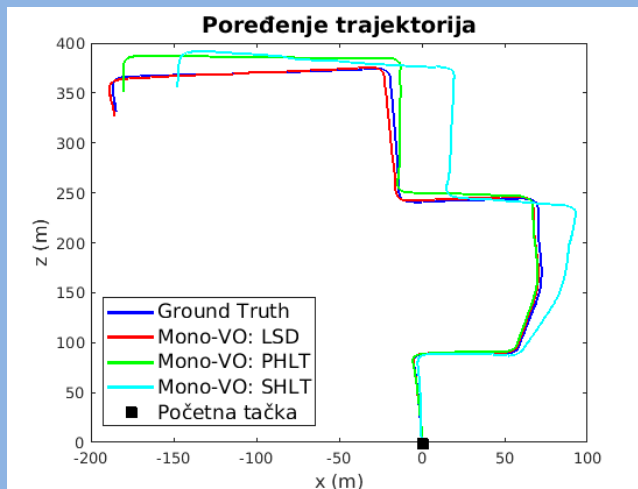
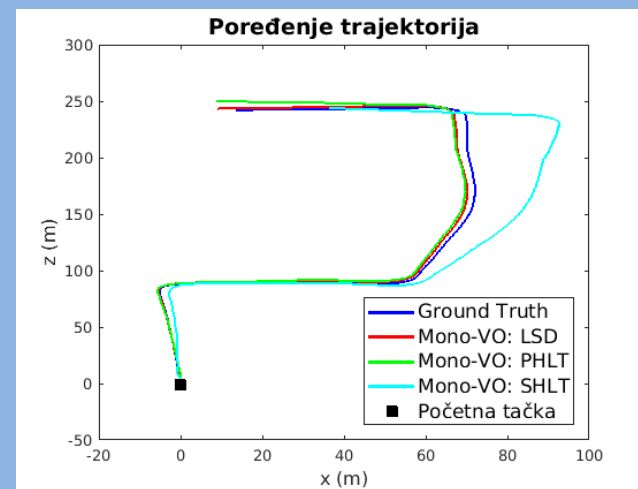
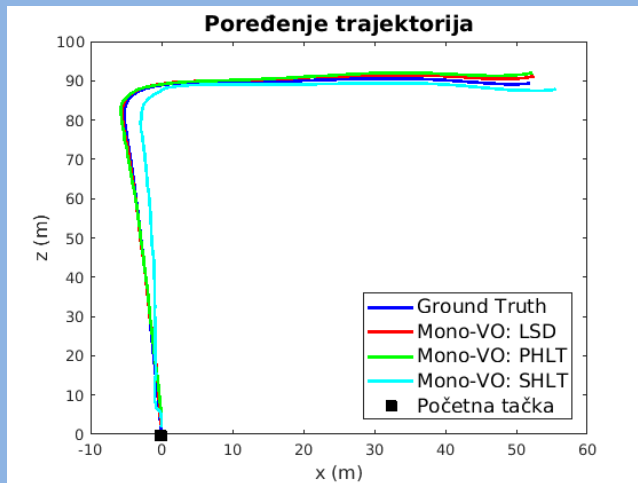
# Eksperimentalni rezultati



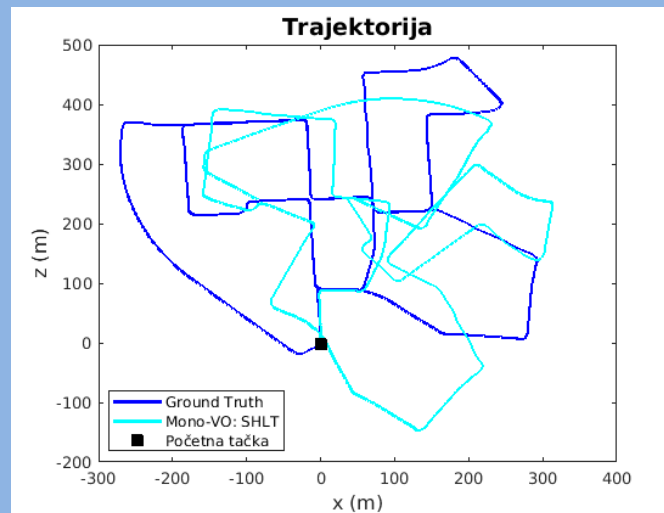
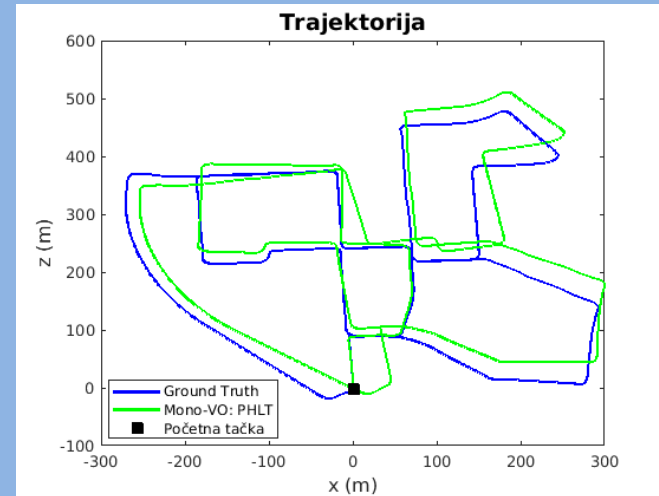
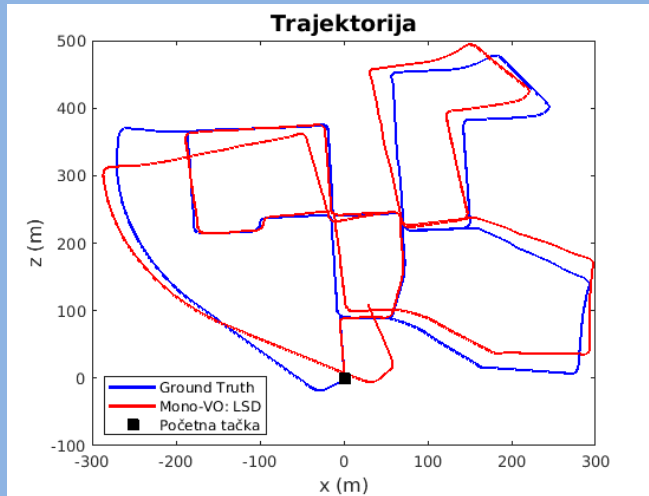
# Eksperimentalni rezultati



# Eksperimentalni rezultati

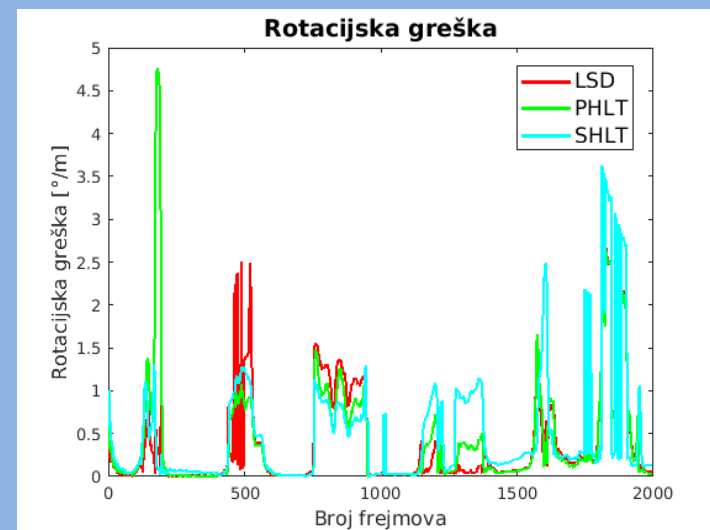
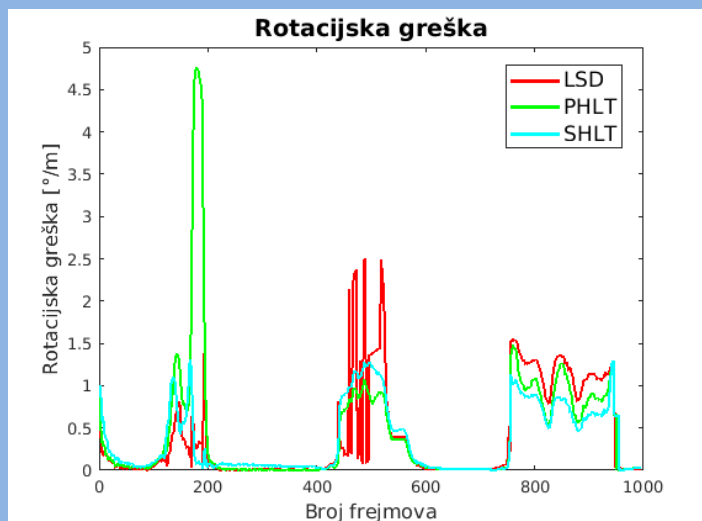
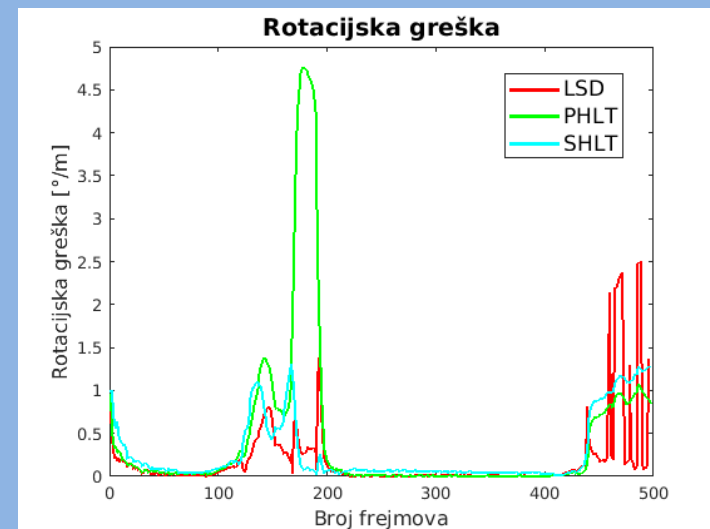
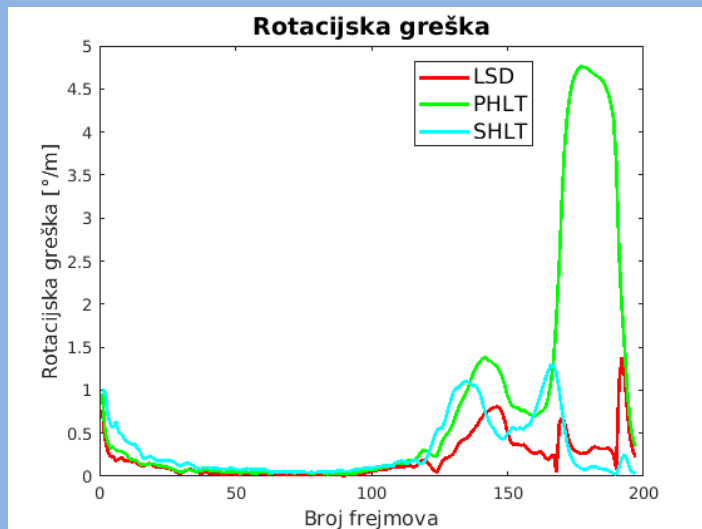


# Eksperimentalni rezultati

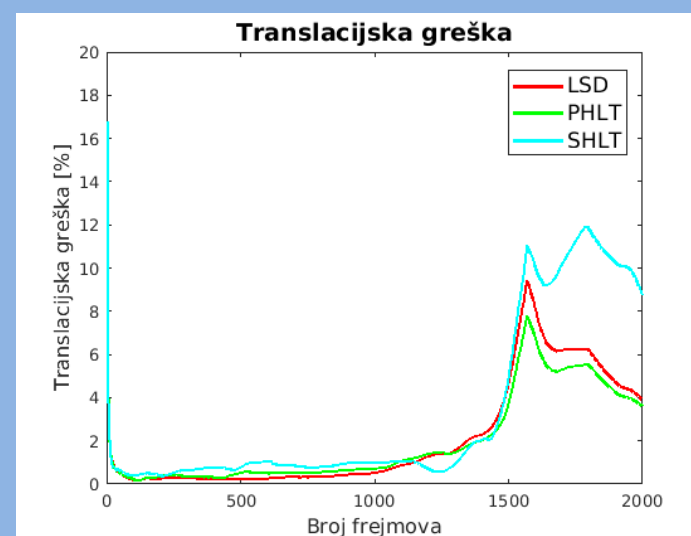
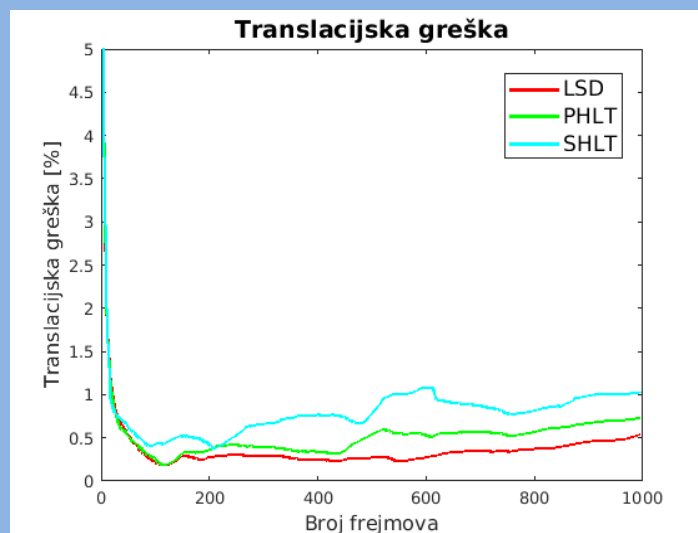
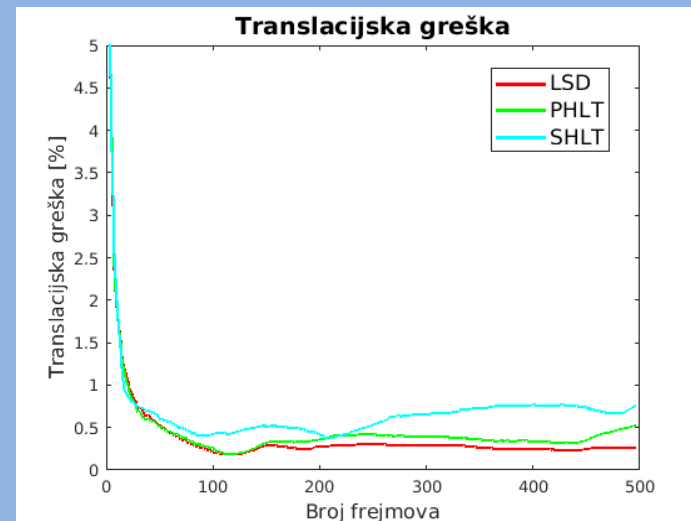
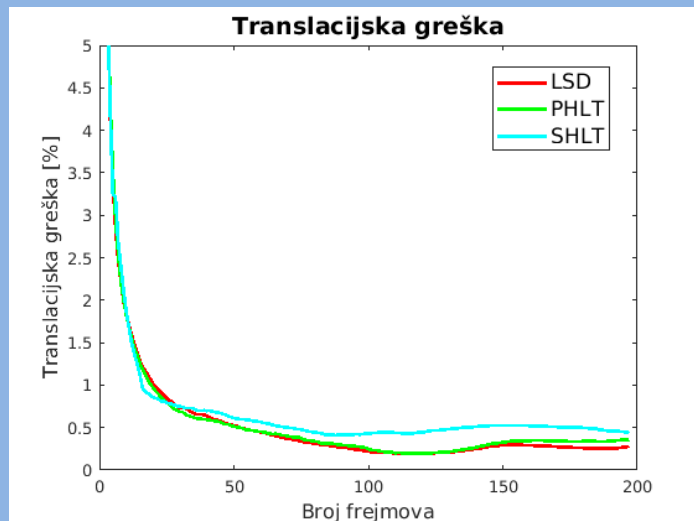




# Eksperimentalni rezultati



# Eksperimentalni rezultati

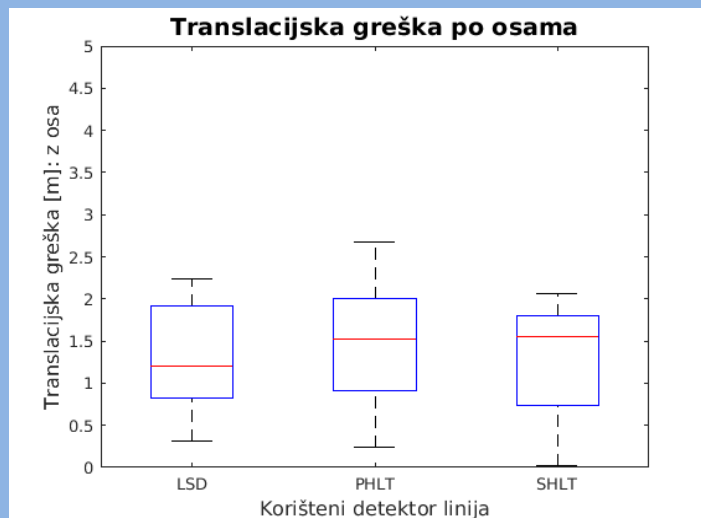
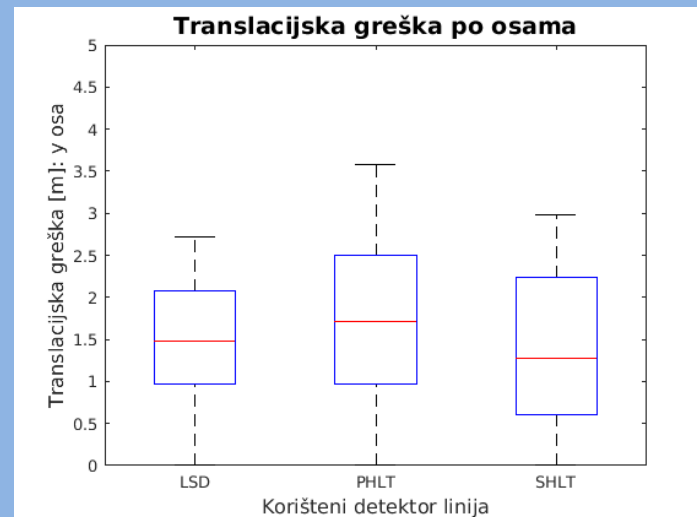
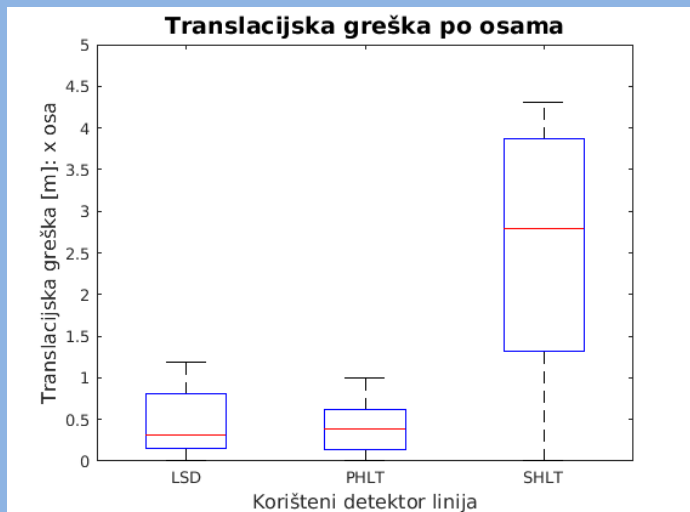


# Eksperimentalni rezultati

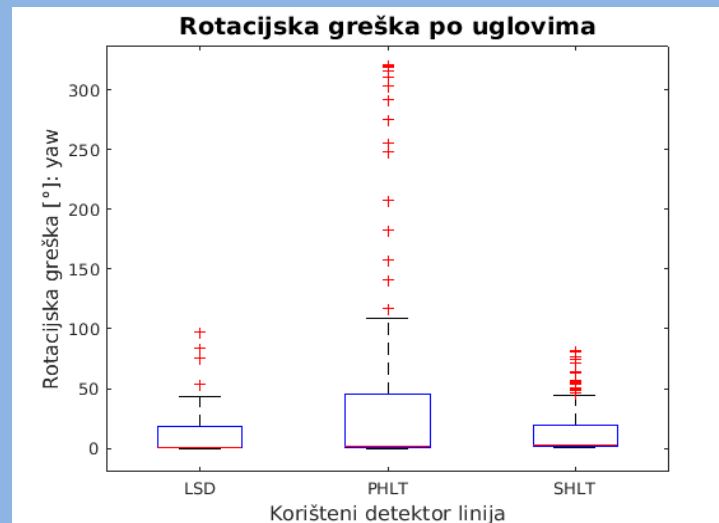
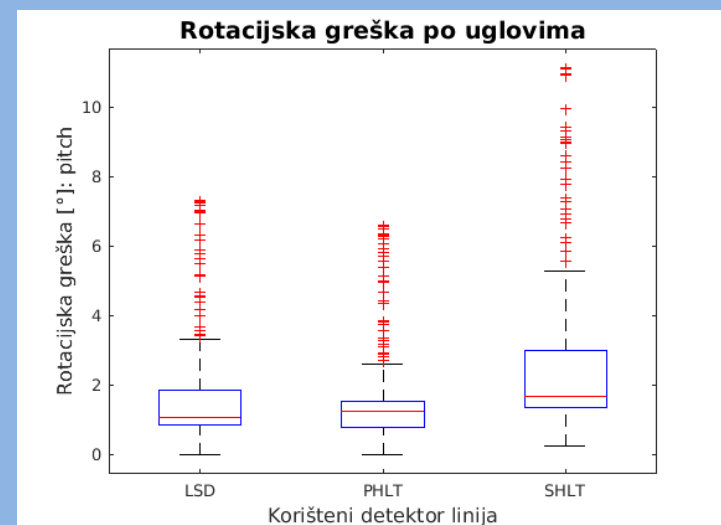
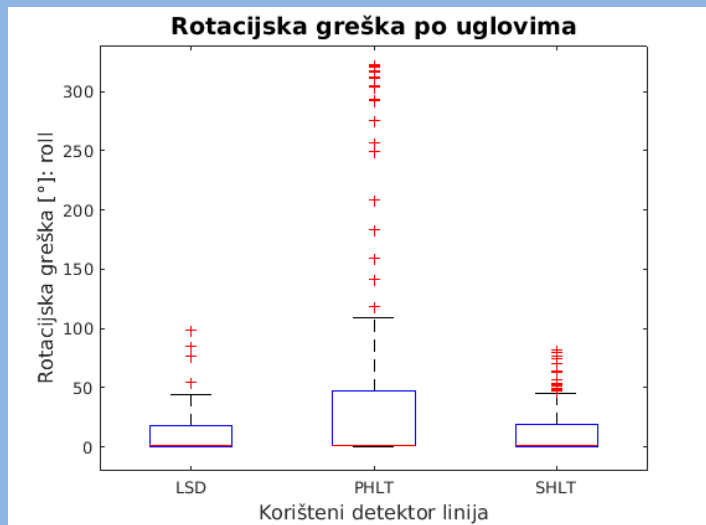
*Greške za svaki od detektora za 200 frejmova*

Detektor	$ATE_{trans}$ [m]	$ATE_{rot}$ [°]	$\epsilon_{trans}$ [%]	$\epsilon_{rot}$ [°/m]
LSD	1.06	4.27	0.60	1.67
PHLT	3.55	30.37	0.65	6.48
SHLT	5.20	21.63	0.78	2.50

# Eksperimentalni rezultati



# Eksperimentalni rezultati



# Eksperimentalni rezultati

*Vrijeme izvršavanja cijele video sekvence za svaki od detektora*

Vrijeme izvršavanja	Mono VO: LSD	Mono VO: PHLT	Mono VO: SHLT
Ukupno vrijeme izvršavanja	2679.28 sekundi	2023.65 sekundi	3906.06 sekundi
Prosječno vrijeme izvršavanja	0.59 sekundi	0.44 sekundi	0.86 sekundi

# Zaključak

- LSD detektor za određene pređene udaljenosti ima najbolje rezultate od sva tri korištena detektora.
- Algoritam je baziran na značajkama (eng. *feature-based*), pokazano da se ne moraju koristiti standardni detektori značajki na slikama kao što je naprimjer FAST detektor.
- VO algoritam sa LSD detektorom je svakako robusniji za okruženja gdje su dominantne linije na slikama.
- Ukoliko se uporedi implementirani Mono VO algoritam sa poznatim Libviso Mono algoritmom od Andreasa Geigera i jasno je da Libviso Mono ima manju rotacijsku grešku, dok Mono VO algoritam sa LSD i PHLT detektorima ima manju translacijsku grešku. Prosječno vrijeme izvršavanja Libviso Mono algoritma iznosi 0.268 sekundi, dok prosječno vrijeme izvršavanja Mono VO algoritma iznosi 0.59 sekundi za LSD detektor.
- Drift između stvarne trajektorije i estimirane trajektorije ovaj algoritam (sa bilo kojim detektorom) ne može sam ukloniti bez implementacija dodatnih algoritama.



**HVALA NA  
PAŽNJI!**